「五目並べ」のプログラムと「ヘックス」のプログラム (計算機によるゲーム・パズルの具体化の検討)

西澤, 輝泰

数理解析研究所講究録
217巻 1974年 57-82

「五目並べ」のプログラムと「ヘックス」のプログラム

電気通信大学　西澤輝泰

I. 「五目並べ」のプログラム

I.1 作成の経過

このプログラムの第1版（主として以下でのべる評価値による着手の選択のみからなる）は，筆者と笠井琢美氏（京大数解研）との共同で，京大大型計算機の，数解研にある端末からのTSSの利用として，会話型言語バッカスを使用して作った。（1972.）　バッカスは会話型の特性として実行に大変時間がかかり，また，TSSで待つ時間も結構長いため，いかに多くの表を利用して重複する計算をさけ，1手の応答を意味のある時間内に短縮するかに殆んどの努力が費やされた。（結局1手の応答にCPUタイム平均8秒程度におさめることができた。）　このプログラムを多少手直しして，筆者がミニコンYHP2100Aの会話型言語BASICでimplementしたところ，1手の応答は15秒程度であった。（メモリが小さくて表があまり作れないため。）これを土台にして，評価値の若干の改良と，基本的には以下で述べる先読みのための「矢印アルゴリズム」をつけ加え，1973年度電通大電算機学科の卒業研究の1課題として，神山修君が筆者と協同で工夫して，YHP

2100A とHITAC 8350 の双方で，FORTRAN により第2版として implement した。（約600 step）

$\boxed{\text{I. 2}}$ プログラムの特徴

第1版，第2版とも tree search (back tracking) による先読を一切やらない。従って1手の応答に要する時間が短かく，第2版の場合，ミニコンYHP2100A で1秒たらず，HITAC 8350 で 3,4 秒である。それにもかかわらず，かなり強いと好評である。格別「五目並べ」が強いというわけではないごく普通の人を相手にして，初回で8割程度，2回目で6,7割程度，3回目以降で5割程度の勝率をあげている。（回を追って勝率がさがるのは，人間が機械のくせをのみこむためと思われる。）機械が3回連続して勝つことも結構ある。

$\boxed{\text{I. 3}}$ アルゴリズムの概略

盤面の大きさは 15×15 とし，各目は，横座標と縦座標の組で表す。禁手は，先手の 3−3，4−4，長連である。アルゴリズムの概略は以下のようである。

1、各表の作成又は初期設定。

2、機械先手の場合は第1手を無条件に目(8,8)に着手。

3、機械又は人間の着手に応じて，各目の予想値の表と役の表を修正。

4、機械の着手は次のようにして選択される。

(4.1) 機械側，人間側のいずれかに 1000 以上の予想値をもつ目があれば，(4.4) へとぶ。そのような目がなければ次に進む。

(4.2) 「矢印アルゴリズム」のための先読表を作成。

(4.3) 「矢印アルゴリズム」により機械側，人間側双方の「勝型」をさがし もしいずれかの側にそれがあれば，機械側の「勝型」は確保し，人間側の「勝型」は妨害するように着手する。「勝型」がみつからなければ次へ進む。

(4.4) 評価値の最も高い目の1つをランダムに選んで着手する。

5. 着手およびメッセージの入出力は（HITAC 8350の場合）コンソール・ディスプレイ（出力）とコンソール・タイプから行う。試合終了後に記録をラインプリンタで出力する。

I.4 評価値の計算

1. 局面

盤面の状態の評価は，いずれが先手であったか (a)，いずれの側から見るか (b)，盤面の布石はどうか (K) によって定まる。従って，この (a, b, k) の組を局面と称する。a, b は 1 又は 2 をとるものとし，1 は機械を，2 は人間を表す。盤面は $S = \{1, 2, 3, \cdots, 15\}^2$ なる集合とし，S の状態 K とは $S \to \{1, -1, 0\}$ の写像であるとする。$p \in S$ に対し，$K(p) = 1$

はS上の点Pの上に自分の石があることを，$K(p)=-1$ と $K(p)=0$ はそれぞれ，相手石があることと，石が無いことを表す。

2．盤面上の方向

S上の方向ベクトルは $H_1=(0,-1)$，$H_2=(1,-1)$，$H_3=(1,0)$，$H_4=(1,1)$ の4種とする。S上の点 $P(i,j)$ に対し，$P+nH_i$ は，$H_i=(k,l)$ とするとき，点 $(i+nk, j+nl)$ を表す。

3．各点の台とその状態

S上の点Pの，方向H_iの台（これを台(p,H_i)と略記）とは，S上，H_i方向に連続する5点がその順序でなすPを含む系列をいう。（即ち，台(P,H_i)とは，S上の点列 $\langle P_1,P_2,\cdots,P_5\rangle$ であって，このうちの1点がPであり，$P_j=P_1+(j-1)H_i$ $(j=2,3,4,5)$ なるものである。）方向H_iでその台に隣接する点（即ち，P_1-H_i，P_5+H_i）をその台の隣接点という。

台 $\langle P_1,\cdots,P_5\rangle$ の，局面 (a,b,K) の下での状態とは，系列 $\langle K(P_1),\cdots,K(P_5)\rangle$ をいう。

4．基本型とその「値」及び「役」

1，−1，0 からなる長さ5の系列を基本型といい，各基本型の値と役を次のように定める。

(1) −1を含む場合（例，0-1101）・・・値は0，役は無

(2) −1を含まない場合

(2.1) 1を丁度1個含む場合(例. 00010) ‥‥ 値は1, 段は無

(2.2) 〃 2 〃 (例. 01001) ‥‥ 〃 7, 〃 〃

(2.3) 〃 3 〃 (例. 01011) ‥‥ 〃 30, 〃 三

(2.4) 01111 又は 11110 ‥‥ 〃 302, 〃 四

(2.5) 10111 又は 11011 又は 11101 ‥‥ 〃 300, 〃 四

(2.6) 11111 ‥‥‥ 〃 10000, 〃 無

5. 台の「値」と「段」

局面 (a, b, K) の下での, 台 (P, H_i) $\langle P_1, \cdots, P_5 \rangle$ は次のような値と段をもつ。

(5.1) $a \neq b$ のとき, $\langle K(P_1), \cdots, K(P_5) \rangle$ の値と段。

(5.2) $a = b$ のとき, もし $\langle P_1, \cdots, P_5 \rangle$ の隣接点で状態が1であるような点が存在すれば, 値は0, 段は無である。そうでなければ $\langle K(P_1), \cdots, K(P_5) \rangle$ の値と段。

6. 点 $P \in S$ の, 方向 H_i に関する値と段

局面 (a, b, K) を仮定する。点 P の, 方向 H_i に関する段 $G(P, H_i)$ を次で定める。

(6.1) 段が四であるような台 (P, H_i) が2個以上あれば, $G(P, H_i) =$ 棒四, そうでなければ,

(6.2) 段が四であるような台 (P, H_i) が1個あれば, $G(P, H_i) =$ 四, そうでなければ,

(6.3) 段が3であるような台 (P, H_i) が3個以上あれば,

$G(p, H_i)$ = 強三，そうでなければ，

(6.4) 役が三であるような台(p, H_i)が2組あれば$G(p, H_i)$ = 三，そうでなければ，

(6.5) $G(p, H_i)$ = 無。

点pの，方向H_iに関する値$V(p, H_i)$を次で定める。即ち$V_0(p, H_i)$を，台(p, H_i)の値をすべて加えたものとして，

$$V(p, H_i) = V_0(p, H_i) + \begin{cases} 200 + (2-b) \times 100 & \cdots\cdots G(p, H_i) = \text{弱三} \\ 215 + (2-b) \times 100 & \cdots\cdots G(p, H_i) = \text{強三} \\ 0 & \cdots\cdots \text{その他のとき.} \end{cases}$$

7. 点pの値

局面(a, b, k)を仮定する。点$p \in S$は次のように定められる値$V(p)$をもつ。

まず2つの数$c(p)$と$c'(p)$を次のように定める。

各方向H_iに対し，

$c(p, H_i)$ = if $G(p, H_i)$ = 棒四 then 3 else if $G(p, H_i)$ = 四 then 2 else 0,

$c'(p, H_i)$ = if $G(p, H_i)$ = 強3 or $G(p, H_i)$ = 弱三 then 1 else 0,

と定め，$c(p) = \sum_{i=1}^{4} c(p, H_i)$，$c'(p, H_i) = \sum_{i=1}^{4} c'(p, H_i)$とおく。

$c(p) \geqq 4$は四四があることを，$c'(p) \geqq 2$は三三があることとする。$c(p) < 4 \wedge c'(p) < 2 \wedge c(p) + c'(p) \geqq 3$ならう，棒四または四三である。

$\Sigma = \sum_{i=1}^{4} V(p, H_i)$ とおいて, $V(p)$ を次で定める。

(i) $a=b \wedge (c'(p) \geqq 2 \vee c(p) \geqq 4)$ ならば $V(p) = -\Sigma$

(ii) $((a=b \wedge c'(p)<2 \wedge c(p)<4) \vee a \neq b) \wedge (c(p) \times c'(p) \geqq 2)$ ならば, $V(p) = \Sigma + 2500 + (2-b)\times 1000$

(iii) $a \neq b \wedge c(p)=0 \wedge c'(p) \geqq 2$ ならば $V(p) = \Sigma + 1000$

(vi) $c(p) \leqq 2 \wedge c'(p) \leqq 1$ ならば, $V(p) = \Sigma$

(注. (i)は先手の三三, 四四に対する処置, (ii)は四三, 棒四 又は後手四四に対する処置, (iii)は後手三三に対する処置, (vi)はその他に対する処置である。

8. 点 $p \in S$ の予想値

点 p は局面 (a, b, K) の下で予想値 $E(a, b, K, p)$ をもつ。それは, 次のように定められる。

(8.1) $K(p) \neq 0$ なら $E(a, b, K, p) = -10000$

(8.2) $K(p) = 0$ なら,

$$K^+(Q) = \text{if } Q \neq p \text{ then } K(P) \text{ else } 1$$

によりSの状態 K^+ をきめ, 局面 (a, b, K^+) の下での $V(p)$ を $E(a, b, K, p)$ とする。

9. 点 p の評価値

局面 (a, b, K) の下での $p \in S$ の評価値 $T(p)$ は, $b=1$, $E(a, b, K, p) \geqq 0$ のときのみ定義され, その値は

$$T(p) = E(a, b, K, p) + \lambda \times | E(a, b^*, K^*, p) |$$

である。ここに、 $\lambda =$ if $a=1$ then 0.7 else 1.0 , $b^* = 3-b$, K^*は、 $(\forall Q \in S)\ K^*(Q) = -K(Q)$ で定められる。

(ただし、この $T(p)$ の計算は、評価値による着手の選択のルーチン内で行われ、$T(p)$ の表は作成されるわけではない。)

10. 点 p の役の表

$E(a,1,K,p)$ と $E(a,2,K^*,p)$ の表は常に保持されていて、着手に応じて修正される。その修正を行うには、局面 $(a,1,K)$ と $(a,2,K^*)$ の下での $G(p,H_i)$ の表を保持しておくのが便利であり、この表は「矢印アルゴリズム」にも使用される。

I.5 「矢印アルゴリズム」

$E(a,1,K,p)$ 又は $E(a,2,K^*,p)$ が 1000 より大となる点 p が、局面 $(a,1,K)$ の下で存在しないとき、このルーチンが働く。

1. 先読表 A_K^b

局面 (a,b,K) を仮定する。A_K^b は

$S \to \{0,1,-1\} \cup \{(i,\text{三});\ i=1,2,3,4\} \cup \{(i,\text{四});\ i=1,2,3,4\}$

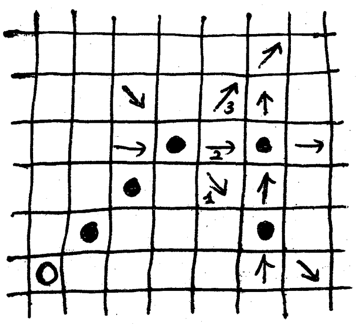
なる写像で、

(i) $K(p) \neq 0$ なら $A_K^b(p) = K(p)$.

(ii) $K(p)=0$ かつ、$G(p,H_i)$ が強(弱)三又は四となる方向 H_i が存在しないとき、$A_K^b(p)=0$.

(iii) (i),(ii)以外の場合，対局者 b が点 p に着手すると，相手がこれに対し乗り手（b の攻撃をとめ，逆に三又は四をつくる）があるならば $A_k^b(p)=0$ とし，そうでなければ，$A_k^b(p)$ は $G(p,H_i)=$ 役（[illegible]）三又は四なる H_i が存在するのに応じて $(i,三)$ 又は $(i,四)$ とする。

A_k^b の作成は，右図のように空白の目に矢印を入れることに相当する。右図の矢印のうち，例えば $\overset{\to}{1}$，$\overset{\to}{2}$，$\overset{\to}{3}$ の位置をこの順で着手すれば，相手に乗り手がなければ，四三を構成することができる。



2．役を構成する矢印点

局面 (a,b,k) を仮定する。簡単のため，$A_k^b(p)=(i,\cdot)$ なる点 p を，方向 H_i の矢印点ということにする。方向 H_i と S 上の2点 P,Q について，

$[P,Q,H_i]$ が役四（又は三）を構成する，ということを，次のように規定する。

(i) $K(P)=K(Q)=0$，P は，もし矢印点であれば，その方向は H_i と異る。

(ii) ベクトル $\overrightarrow{PQ}$ は方向 H_i（又は $-H_i$）をもつ。

(iii) Q は矢印点で，その方向は H_i と異る。

(iv) 2点P,Qを通る直線上の，方向がHiと異るすべての矢印点Rについて，$K'(R)=1$とし，その他の点についてはK'とKの値が等しいとしたK'について，局面(a,b,K')の下で，役が四でありかつ点Qを含む台(P,Hi)がある。(又は役が三でありかつ点Qを含む台(P,Hi)が2つ以上ある。)

3．着手の選択

局面(a,1,K)では，矢印アルゴリズムによる着手の選択は次のように行われる。

(3.1) 局面(a,1,K)を仮定する。$A^1_K(p)=(i,\alpha)$（αは三又は四）なる各矢印点pについて，[P,Q,Hj]が役βを構成していて，a=1なる$\alpha \neq \beta$，a=2なる$\alpha\beta \neq$三三なるQを探し，最初に見出したそのようなQを選んで着手の選択を終る。もしそのようなQがみつからなければ，a=1なるときはそのままで，a=2なるときは，$\alpha\beta=$三三となるQを探し（実は前段のステップで同時に探している），最初に見出したQをQ_0として(3,2)へ進む。Q_0が見出されなければやはりそのまゝ(3,2)へ進む。

(3.2) 局面(a,1,K)を仮定する。$A^1_K(p)=0$なる各点pについて，[p,Q,Hj]が役αを構成し，[p,Q',Hj']が役βを構成していて，$H_j \neq H_{j'}$であり，a=1なる$\alpha \neq \beta$，a=2なる$\alpha\beta \neq$三三なるようなQ,Q'を探し

，最初に見出したそのようなQを選んで着手する。もしそのようなQが見つからなければ，$a=1$ なるときはそのままで，$a=2$ なるときは，もし(3,1)でQ_0が見出されていればやはりそのままで，そうでなければ，$\alpha\beta=$三三 となるQ, Q'をさがし最初に見出したそのようなQをQ_0とし，もしなければそのままで，(3,3)へ進む。

(3,3) 局面 $(a, 2, K^*)$ を仮定する。$A^2_{K^*}(p)=(i,\alpha)$ なる矢印点pであって，$[p, Q, H_j]$が役βを構成し，$a=2$ なる $\alpha\neq\beta$，$a=1$ なる $\alpha\beta\neq$三三 であるようなQが存在するようなpを探し，最初に見出したそのようなpを選んで着手する。そのようなpがなければ，$a=2$なるそのままで，$a=1$ なる $\alpha\beta=$三三 となるようなpを探し，もしあれば，そのような最初のpをQ_0として，また，なければそのままで(3,4)に進む。

(3,4) 局面 $(a, 2, K^*)$ を仮定する。

$A^2_{K^*}(p)=0$ なる点pであって，$[p, Q, H_j]$が役αを，$[p, Q', H_{j'}]$が役βを構成していて，$H_j\neq H_{j'}$ かつ，$a=2$ なる $\alpha\neq\beta$ で $a=1$ なる $\alpha\beta\neq$三三 となるQ, Q'が存在するような点pを探し，最初に見いだされたそのようなpを選んで着手する。もしそのようなpがなければ，$a=2$ なるそのままで，$a=1$ なる $\alpha\beta=$三三 となるようなpで探

し，もしあれば最初に見出したそのようなPをQ。として，またそのようなPがなければそのままで，(3.5)に進む。

(3.5) 上記までの過程でQ。が定義されていれば，Q。に着手し，そうでなければ評価値による着手の選択にとぶ。

Remark　上記において，(3.1)～(3.4)で，実際に調べるのは，そこで述べてあるQやQ′の存在性ではなく，H_3，H_3'の存在性である。書き方の都合上，上のような表現をとった。

II. 「ヘックス」のプログラム

II.1 作成の経過とプログラムの特徴

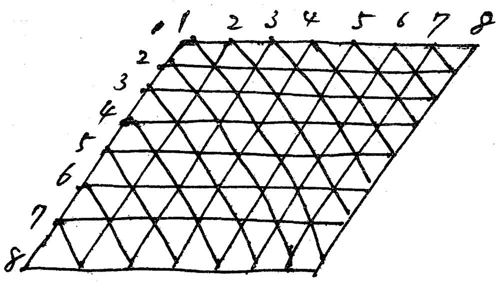
このプログラムは，1973年度電通大電子計算機学科の卒業研究の1課題として，羽倉朝康君が，筆者の多少の協力の下で作成したものである。ヘックスにおいて有効なstaticなstrategyを見出すことを目的としたので，前記「五目並べ」の場合と同様，tree searchはやらないことを原則とした。実は評価点を計算して，そのもっとも高い値をもつ目の中からランダムに選んで打つだけである。機械はYHP 2100Aを用い，FORTRANでcodingした。メモリが小さいためsegmentにわけてオーバー・レイ機能を用いて処理しているが，1手の

応答は 2,3 秒である。プログラムの大きさは，約 900 step である。試合では人間にあまり勝てないが（その理由は，プログラムの内容から自ずと明らかになる筈である），一見かなりうまく打つ。ルールのおぼえたてで，試合経験がまだ数回という人を相手にすれば勝てる程度の強さはある。

II.2　アルゴリズムの概略

機械の着手は，もし先手で第1手なら無条件に (5,4) 又は (4,5) に着手する。（盤面の大きさは 8×8 で，各目を横座標と縦座標の組で表わしている。）第1手以外はすべて，評価値（各目の）を計算して最高値のところに着手するだけであるから，以下で評価値計算のアルゴリズムについてのべる。

1. 盤面とその状態



盤面と，その上の座標は右図のように設定されている。$S_0=\{1,2,\cdots,8\}^2$，$S_1=\{\top,\bot,\vdash,\dashv\}$ として，盤面を集合 $S=S_0\cup S_1$ とする。盤面の状態を，$S\to\{1,-1,0\}$ なる写像 K で表す。（1 は機械側の石を，-1 は人間側の石を，0 は空白を表す。）ただし，常に $K(\top)=K(\bot)=1$，$K(\vdash)=K(\dashv)=-1$ であるとする。

2. 点の隣接，縦連結，横連結

(2.1) S上の2点 P, Q は，

(i) $P=(i,j) \wedge Q=(i',j') \wedge |i-i'|\leqq 1 \wedge |j-j'|\leqq 1 \wedge (i-i')(j-j')\geqq 0$ なるとき，又は

(ii) $(P=\top \wedge Q=(i,1)) \vee (P=\bot \wedge Q=(i,8)) \vee (P=\vdash \wedge Q=(1,j)) \vee (P=\dashv \wedge Q=(8,j))$ なるとき，隣接しているという。2点間の隣接関係は可換とする。

(2.2) Sの状態Kの下で，S上の点の間の縦〔横〕連結関係を次のように定める。

(i) $K(P)=K(Q)=1$ 〔-1〕 かつ PとQが隣接していれば，PとQは縦〔横〕連結関係にある。

(ii) 縦〔横〕連結関係は，上記(i)をみたす最小の同値関係である。

（註．このゲームでは，$\bot$と$\top$が縦連結になったとき機械の勝ちで，逆に$\vdash$と$\dashv$が横連結になったとき人間の勝ちである。）

(2.3) Sの状態Kの下で，縦〔横〕連結関係によるS上の点の同値類を，縦〔横〕連結成分という。

3. 連結成分間の連結支持領域と1手連結支持領域

Sの状態Kを仮定する。

(3.1) S上の2点 P_1, P_2 と $D \subset S-\{P_1,P_2\}$ について，関係 $C_i(P_1,P_2;D)$ $(i=0,1,2,\cdots)$ を次のように定

める。

(i) $C_0(P_1, P_2; D)$ なるのは $D=\phi$ かつ，P_1とP_2が隣接しているときかつそのときに限る。

(ii) $C_{n+1}(P_1, P_2; D)$ なるのは次のとき，かつそのときに限る。

① $(\forall Q \in D)\ K(Q)=0$.

② $(\exists D_{11}, D_{12}, D_{21}, D_{22} \subset D)(\exists Q_1, Q_2 \in D)\left[D = D_{11} + D_{12} + D_{21} + D_{22} + \{Q_1\} + \{Q_2\}\ (\text{直和}) \wedge \bigwedge_{i=1}^{2}\bigwedge_{j=1}^{2} C_n(P_i, P_j; D_{ij})\right]$.

あるnについて $C_n(P_1, P_2; D)$ なるとき (P_1, P_2) は連結可能で，Dはその支持領域と呼ぶ。

(3.2) S上の2点 P_1, P_2 と $D \subset S - \{P_1, P_2\}$ について，関係 $C_n^*(P_1, P_2; D)$ を $[(\exists D_1, D_2 \subset D)(\exists Q \in D)\{D = D_1 + D_2 + \{Q\}\ (\text{直和}) \wedge C_n(P_1, Q; D_1) \wedge C_n(P_2, Q; D_2)\}]$ をもって定義する。このときの点Qを $M(P_1, P_2, D)$ で表す。(複数個の可能性あり。)

(3.3) A, B を2つの縦〔横〕連結成分とする。A, B と，$D \subset S - A \cup B$ との関係 $C_n^*(A, B; D)$ を，

$(\exists P \in A)(\exists Q \in B)\ C_n^*(P, Q; D)$

で定まる。このときの $M(P, Q, D)$ を，$M(A, B, D)$ で表す。あるnについて $C^*(A, B, D)$ のときは (A, B) は1手連結可能といい，Dはその支持領域という。

(3.4) A, B を2つの縦[横]連結成分とする。A, B と $D \subset S - A \cup B$ との関係 $C_n(A,B;D)$ $(n \geqq 1)$ を,

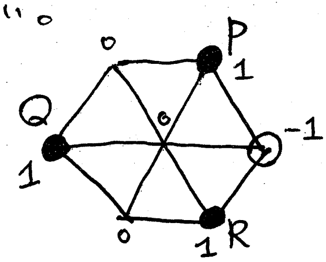
$C_n(A,B;D) \iff [(\exists D_1, D_2 \subset D)\ D = D_1 + D_2$ (直和) $\wedge$ $C^*_{n-1}(A,B;D_1) \wedge C^*_{n-1}(A,B;D_2)]$ で定める。ある n について $C_n(A,B;D)$ なるとき, D は (A, B) の連結支援領域といい, (A, B) は (D の支援の下で) 連結可能という。

(3.5) F−連結, F^*−1手連結

各関係 C_n と C^*_n について, $C_\infty = \bigcup_{n=1}^{\infty} C_n$ と $C^*_\infty = \bigcup_{n=1}^{\infty} C^*_n$ がわかれば, このゲームは解けたも同然である。しかし, このプログラムでは高々 C^*_4 の, しかもかなり小さい部分を用いているにすぎない。個々を具体的に列挙するのは煩雑であるから省略するが, 以下でアルゴリズムを説明する必要上, このプログラムで用いた C_∞ と C^*_∞ の部分関係を, それぞれ F と F^* で表すことにする。$(\exists D)\ F(A,B;D)$ なるとき, (A, B) は F−連結可能といい, $(\exists D)\ F^*(A,B;D)$ なるとき, (A, B) は F^*−1手連結可能という。

4. 連結可能性の拡張

連結成分間の連結可能性は推移的ではない。例えば右図で, ({P}, {Q}) と ({Q}, {R}) は連結可能であるが, ({P}, {R}) は連結可能でない。一般に, (A, B) が



支持領域 D_1 の下で連結可能で，(B, C) が支持領域 D_2 の下で連結可能で，$D_1 \cap D_2 = \phi$ ならば，(A, C) は連結可能である。しかし，(A, B) が連結可能であるとき，その支持領域をすべて調べてかつ記憶しておくのは時間的にも記憶容量の関係からもあまり利巧でないように思われる。推移性が成りたたない場合が比較的起りにくいので，このプログラムでは，

$$\widetilde{H}(A, B) \Longleftrightarrow \sim(\exists D)\, C_\infty(A, B; D)$$

（ (A, B) は連結可能でない ） なる関係 $\widetilde{H}$ のごく小さな部分関係 H をつくっておいて，

$$(\exists D_1)\, F(A, B; D_1) \wedge (\exists D_2) F(B, C; D_2) \wedge \sim H(A, B)$$

なるときは A, C は F－連結可能である，ということにして連結可能性を拡張している。（正しさの保証はない。）関係 H について具体的に列挙することは省略する。

5. 評価値 V の計算

S の状態 K を仮定する。$V : \{p \in S \mid K(p) = 0\} \to N$ を，次のように構成してゆく。

(5.1) $K(p) = 0$ なる各点 p に，まず $V(p) = 0$ なる値をわりあてる。

(5.2) 各縦［横］連結成分 A, B について，A, B が F－連結（可能）であれば，この支持領域の各点 p について，

$V(p) \leftarrow V(p) + 1$ とする。

(5.3) 各縦〔横〕連結成分 A, B について，(A, B) が F^*−1手連結可能であれば，この支持領域 D と点 $M(A,B,D)$ について，下表のように V の値を修正する。ただし下表で $Q = M(A,B,D)$，$p \in D - \{Q\}$ であり，$I(X) = 1$ は X が縦〔横〕連結のとき，$(X, \top[\vdash])$ が F−連結可能であることを示し，$I(X) = 2$ は $(X, \bot[\dashv])$ が F−連結可能であることを示し，$I(X) = 0$ は $(X, \top[\vdash])$ も $(X, \bot[\dashv])$ も F−連結可能ではないことを示す。

	値 \ case	$I(A)=1$, $I(B)=2$	$I(A)=1$ or 2, $I(B)=0$ or $I(A)$	$I(A)=0$, $I(B)=0$
縦連結	$V(Q)$	$V(Q)+1000$	$V(Q)+100$	$V(Q)+10$
	$V(p)$	$V(p)+100$	$V(p)+10$	$V(p)+1$
横連結	$V(Q)$	$V(Q)+1000$	$V(Q)+100$	$V(Q)+10$
	$V(p)$	$V(p)+800$	$V(p)+80$	$V(p)+8$

(5.4) 各3連結成分 A, B, C について，(A, B) と (B, C) が F−連結可能で，(A, C) が関係 H をみたすとき，(A, B) の支持領域 D_1 と (B, C) の支持領域 D_2 について，各 $p \in D_1 \cap D_2$ に対し，$V(p)$ を次のように変更する。

(i) $I(A) = I(B) = I(C) = 0$ のとき，$V(p) \leftarrow V(p) + 10$

(ii) $(I(A) = I(B) \neq 0 \wedge I(C) = 0) \vee (I(A) = 0 \wedge I(B) = I(C) \neq 0)$

のとき，$V(p) \leftarrow V(p) + 100$

(iii) $I(A) = 1$，$I(B) = 2$ のとき，$V(p) \leftarrow V(p) + 1000$

以上が評価値計算のすべてである。

```
:JOB,HEX
END JOB HEX                                ヘックス(1)


JOB HEX    19
@
:PR,JBINC

@:PR,LOADR,2,1,Ø,1,1
ENTER FILE NAME(S) OR /E
CHAIN,LINK,RHEX,/E




RELOCATING LOADER

NAME/ENTRY ADDR.




LOADR COMPLETE

@:RUN,HEX1
     HEX O HAZIMEMASU
     4KETA NO RANSU O IRETE KUDASAI

9875
     HEX NO HIROSA O KIMETE KUDASAI  HEX(N,N) N?
       (N=6 OR 7 OR 8)
8
     SENTEWA? WATASHI=1 ANATA=Ø

1
     WATASHI NO TE      **45**

     ANATA NO TE WA?

32
     WATASHI NO TE      **22**

     ANATA NO TE WA?

34

*:
IGNORED
     WATASHI NO TE      **46**

     ANATA NO TE WA?

54
     WATASHI NO TE      **85**
```

ANATA NO TE WA?　　　　　　　ヘックス (2)

64

WATASHI NO TE　　**44**

ANATA NO TE WA?

00

```
                 0    0    0   10   20   20   20   10
               1   -1  -30   80   10   20   20   10
             3    2  100  180  100   11  201   11
           2    3  -40 1000  -50  -50   21   21
         1    1    1   -3    0    1    1   -4
       0    0    1   -3    2    1    1    1
     0    0    1    3    4    2    1    1
   0    0    1    2    4    3    2    1
```

ANATA NO TE WA?

33

WATASHI NO TE　　**43**

ANATA NO TE WA?

42

WATASHI NO TE　　**53**

ANATA NO TE WA?

52

WATASHI NO TE　　**73**

ANATA NO TE WA?

63

WATASHI NO TE　　**76**

ANATA NO TE WA?

77

WATASHI NO TE　　**66**

ANATA NO TE WA?

67

WATASHI NO TE　　**58**

ANATA NO TE WA?

67

SOKOWA SUDENI UTARETE IMASU
MOICHIDO UCHI NAOSHITE KUDASAI

57

WATASHI NO TE　　**47**

```
        ANATA NO TE WA?                                   ヘックス(3)
 56
        WATASHI NO TE       **55**
        ANATA NO TE WA?
 75
        WATASHI NO TE       **86**
        ANATA NO TE WA?
 61
        WATASHI NO TE       **82**
        ANATA NO TE WA?
 81
        WATASHI NO TE       **71**
        ANATA NO TE WA?
 83
        WATASHI NO TE       **72**
        ANATA NO TE WA?
 84
        WATASHI NO TE       **74**
        ANATA NO TE WA?
 87
        WATASHI NO KACHI
        MOICHIDO SURUKA  SURU=1 YAMERU=Ø
 1
        HEX NO HIROSA O KIMETE KUDASAI  HEX(N,N) N?
          (N=6 OR 7 OR 8)
 6
        SENTEWA? WATASHI=1 ANATA=Ø
 Ø
        ANATA NO TE WA?
 43
        WATASHI NO TE       **33**
        ANATA NO TE WA?
 21
        WATASHI NO TE       **32**
        ANATA NO TE WA?
 31
        WATASHI NO TE       **42**
        ANATA NO TE WA?
 41
        WATASHI NO TE       **62**
```

ヘックス（4）

```
      ANATA NO TE WA?

 52
      WATASHI NO TE       **53**

      ANATA NO TE WA?

 63
      WATASHI NO TE       **11**

      ANATA NO TE WA.

 22
      WATASHI NO TE       **12**

      ANATA NO TE WA?

 23
      WATASHI NO TE       **13**

      ANATA NO TE WA?

 26
      WATASHI NO TE       **35**

      ANATA NO TE WA?

 24
      WATASHI NO TE       **54**

      ANATA NO TE WA?

 14
      COUNT OVER
      ANATA NO KACHI

      MOICHIDO SURUKA  SURU=1 YAMERU=Ø

Ø
  HEX1  : STOP    ØØØØ

@:EJOB
END JOB HEX
```

「五目並べ」記録1

*****KONO SHIAI HA KIKAI NO SENTE DESU*****

RANSUU NO ATAI HA 67 DESU
DAI 11 TEME HA SUBROUTINE SAKID NI YORU KIKAI NO BOUGAITE DESU
DAI 17 TEME HA SUBROUTINE SAKI NI YORU KIKAI NO YOMITE DESU

*****KONO SHIAI HA KIKAI NO KACHI DESU*****

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	-10	0	0	17	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	9	-14	-18	21	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	-16	7	15	13	19	-20	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	3	-2	-12	11	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	5	1	-6	-22	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	-8	0	-4	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

「五目並べ」記録2

*****KONO SHIAI HA NINGEN NO SENTE DESU*****

RANSUU NO ATAI HA 57 DESU
DAI 16 TEME HA SUBROUTINE SAKID NI YORU KIKAI NO BOUGAITE DESU
DAI 22 TEME HA SUBROUTINE SAKID NI YORU KIKAI NO BOUGAITE DESU
DAI 30 TEME HA SUBROUTINE SAKID NI YORU KIKAI NO YOMITE DESU

*****KONO SHIAI HA KIKAI NO KACHI DESU*****

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	-31	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	-15	0	16	26	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	14	30	32	0	-23	18	0	0	0
0	0	0	0	0	-13	6	0	22	0	-17	-21	-27	28	0
0	0	0	0	0	0	10	-3	-9	-7	-19	20	-25	0	0
0	0	0	0	0	0	2	4	-5	0	24	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	-11	-1	12	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	-29	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

「五目並べ」記録3

*****KONO SHIAI HA KIKAI NO SENTE DESU*****

RANSUU NO ATAI HA 91 DESU
DAI 15 TEME HA SUBROUTINE SAKID NI YORU KIKAI NO BOUGAITE DESU
DAI 33 TEME HA SUBROUTINE SAKI NI YORU KIKAI NO YOMITE DESU
DAI 35 TEME HA SUBROUTINE SAKI NI YORU KIKAI NO YOMITE DESU

*****KONO SHIAI HA KIKAI NO KACHI DESU*****

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	41	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	37	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	39	0	-38	0	0	0	0	0	0
0	0	0	-34	0	35	0	-4	0	31	0	-30	0	0	0
0	0	0	0	33	-36	-2	3	-8	0	29	0	0	0	0
0	0	0	-40	0	5	-6	1	-22	19	17	21	0	0	0
0	0	0	0	-24	23	7	11	13	-14	-18	0	-32	0	0
0	0	0	0	0	25	0	9	-16	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	27	-26	-20	-12	-10	15	0	0	0	0	0
0	0	0	-28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0